

## 高周波発振器

### 発明の背景

#### 発明の技術分野：

本発明は、ミリ波やマイクロ波帯の周波数信号を発生する高周波発振器に関し、特に、同一の発振周波数を有する第1の発振器と第2の発振器の出力を合成して発振出力を得る高周波発振器に関する。

#### 関連技術の説明：

発振周波数が概ね1GHzから100GHzの範囲である高周波発振器は、例えば、光ケーブルと連動した高周波回線網の発振源として、あるいは測定器の発振源として有用である。この種の高周波発振器の1つに、例えば、日本国特許公開：特開平 4-175001 号公報(JP, 4-175001, A)に開示されるように、基本波を発振する2つの発振器を用い、これらの発振器の出力を合成することによって、基本波の2倍の周波数の成分を出力する、いわゆるプッシュアップ型発振器がある。以下、このように基本波の2倍の周波数成分を出力する発振器を2倍波発振器と呼ぶ。

図1は、従来の2倍波発振器の構成の一例を示している。この2倍波発振器は、共振器1と、第1の発振部2aと、第2の発振部2bと、合成器3とから構成されている。

共振器1は、例えば、誘電体共振器やIC（集積回路）内に設けたLC素子やマイクロストリップラインを用いたものである。各発振部2a、2bは、それぞれ、発振用増幅器及び帰還系を含み、共振器1を共有することによって、同一の発振周波数（基本波） $f_0$ を有する第1及び第2の発振器を形成する。ただし、各発振器からの基本波出力は180度の位相差を持つように、すなわち互いに逆相となるようにする。合成器3は、例えば差動増幅器からなる同相の合成器であって、各発振器の出力を合成し、合成出力 $f_{out}$ を外部に供給する。

図2A～図2Cは、それぞれ、図1に示す回路における、第1の発振部2aの出力、第2の発振部2bの出力、合成出力 $f_{out}$ での出力波形を示している。図1に示す回路では、第1及び第2の発振部2a、2bからの基本波 $f_0$ の出力は、

図2 A及び図2 Bに示すように位相が相互に180度反転しているので、合成出力  $f_{out}$  においては図2 Cに示すように、基本波成分はそれぞれ相殺されて0となる。それに対し、基本波  $f_0$  の2倍の周波数である2倍波 ( $2f_0$ ) については、第1及び第2の発振部2 a, 2 bからの出力位相が一致するため、合成器3で両者が合成され、合成出力  $f_{out}$  として出力される。結局、図1に示す回路では、各発振部の発振成分のうち、基本波及びその奇数次の高調波は相殺されて出力されないことになる。各発振部からの偶数次の高調波成分は、合成されていずれもレベルが2倍になるが、4倍波以降の偶数次の高調波は2倍波に比較して格段にレベルが小さいため、合成出力  $f_{out}$  においては、2倍波  $2f_0$  が最大レベルとなって出力されることになる。

しかしながら、図1に示した2倍波発振器では、第1及び第2の発振部2 a, 2 bの出力を合成する合成器3を必要とするので、小型化するのが難しい、という問題点がある。さらに、合成器3も含め、第1及び第2の発振部2 a, 2 bからの発振周波数（基本波）成分は、相互に逆相すなわち位相差180度を維持しなければならず、そのため、電気的な回路設計では困難がある。

### 発明の概要

本発明の目的は、小型化を促進するとともに、2つの発振部が相互に逆相で発振するような設計を容易にした高周波発振器を提供することにある。

本発明の目的は、二つの発振器の出力を合成して発振出力を得る高周波発振器であって、基板と、基板の第1の主面に上に、出力端が相互に対向するように配置された発振用の第1および第2の増幅器と、第1の主面に設けられ、第1の増幅器の入力端と出力端とを接続して発振閉ループを構成する第1の信号線と、第1の主面に設けられ、第2の増幅器の入力端と出力端とを接続して発振閉ループを構成する第2の信号線と、基板の第2の主面に設けられ、各信号線とともにマイクロストリップラインを構成する接地導体とを有し、第2の主面において接地導体を取り除かれた開口部が設けられ、開口部の領域で第1及び第2の信号線が相互に近接して配置されてコプレーナライン構造を構成している、高周波発振器によって達成される。

本発明においては、各発振閉ループにおいて、マイクロストリップライン構造の信号線を伝搬する不平衡モードの高周波成分は、開口部の領域においては、コプレーナライン構造により、平衡モードで伝搬する。平衡モードで伝搬する際には、隣接する信号線間では、相互の逆電位となるような逆相モードで高周波成分は伝搬する。このため、2つの発振閉ループの発振用の増幅器は、必然的に、相互に逆相で発振するようになる。そこで、各発振閉ループの出力を合成すれば、基本波が相殺されて2倍波を取り出すことができる。したがって本発明によれば、小型化が促進されるとともに、2つの発振器が相互に逆相で発振するような設計が容易になる。

### 図面の簡単な説明

図1は、従来の2倍波発振器の構成を示すブロック図である。

図2A～図2Cは、それぞれ、図1示す回路における、第1の発振部の出力、第2の発振部の出力、合成出力 $f_{out}$ での出力波形を示す波形図である。

図3A及び図3Bは、それぞれ、本発明の第1の実施形態の2倍波発振器を示す平面図と裏面図である。

図4は、本発明の第2の実施形態の2倍波発振器を示す平面図である。

図5は、本発明の第3の実施形態に基づく、注入同期を用いる2倍波発振器の平面図である。

図6A～図6Cは、それぞれ、図5に示す回路における、第1の増幅器の出力、第2の増幅器の出力、同期信号の波形を示す波形図である。

### 発明の詳細な説明

図3A及び図3Bに示す本発明の第1の実施形態の2倍波発振器は、誘電体からなる基板4に設けられた第1の発振器5a、第2の発振器5b及び合成出力線11を備えている。第1の発振器5aは、第1の発振用増幅器6aと第1の伝送路7aとからなっている。同様に第2の発振器5bは、第2の発振用増幅器6bと第2の伝送路7bとからなっている。増幅器6a、6bは、同一の発振周波数（基本波） $f_0$ を出力するものであって、その出力端が相互に対向するように、

基板4の一方の主面上に配置されている。基板4の他方の主面には、後述する開口部10を除く全面に接地導体9が設けられている。ここには図示していないが、発振器6a、6bに対する電源線及び接地線も設けられている。

各伝送路7a、7bは、基板4の一方の主面に設けられた信号線8を有し、第1の発振器5aの信号線8は増幅器6aの出力端と入力端とを接続するように基板4の一方の主面上に設けられて発振閉ループを形成し、同様に、第2の発振器5bの信号線8は増幅器6bの出力端と入力端とを接続するように基板4の一方の主面上に設けられて発振閉ループを形成している。基板4の一方の主面では、双方の伝送路7a、7bの信号線が相互に平行に並走する区間がある。この並走する区間での信号線8をそれぞれ、隣接信号線部分8a、8bと呼ぶ。各発振器5a、5bの発振周波数は、増幅器6a、6bを含めた伝送路7a、7bの電気長によって決定する。

基板4の他方の主面において、接地導体9は、隣接信号線部分8a、8bの形成領域に対応して除去されていて、そこが、接地導体9における開口部10となっている。隣接信号線部分8a、8bに沿う開口部10の長さを $L$ とする。

したがって、開口部10以外の領域では、伝送路7a、7bは、いずれも、信号線8と接地導体9とからなるマイクロストリップライン構造を有する。また、開口部10が設けられている領域では、隣接信号線部分8a、8bは、コプレーナライン構造を構成している。

増幅器6a、6bの出力端に近接して、基板4の一方の主面には、マイクロストリップライン構造の信号線からなる合成出力線11が設けられている。第1の増幅器6aの出力端において、信号線8からは、引出線12aが、2倍波 $2f_0$ の波長の4分の1の長さだけ突出しており、同様に、第2の増幅器6bの出力端において、信号線8からは、2倍波 $2f_0$ の波長の4分の1の長さだけ引出線12bが突出している。言い換えれば、引出線12a、12bは、基本波 $f_0$ の波長 $\lambda$ の $1/8$ の突出長を有している。引出線12a、12bは、いずれも、基板4の一方の主面において合成出力線11に平行かつ近接して設けられており、これによって、合成出力線11に対して電磁的に結合している。この高周波発振器の発振出力は、合成出力線11から取り出されるようになっている。

次に、この高周波発振器の発振動作について説明する。

電源を投入すると、すなわち増幅器 6 a, 6 b を活性化すると、第 1 及び第 2 の発振器 5 a, 5 b は、高周波成分が伝送路 7 a, 7 b を伝搬することによって発振する。そして、各発振器 5 a, 5 b からのマイクロストリップライン構造の伝送路による不平衡モードの出力は、隣接信号線部分 8 a, 8 b が並走して設けられている領域においてはコプレーナライン構造による平衡モードに変換されて進行し、その後、再び、マイクロストリップライン構造の不平衡モードに変換されて増幅器 6 a, 6 b に帰還する。

ここで、コプレーナライン構造による平衡モードの高周波成分は、隣接する隣接信号線部分 8 a, 8 b 間では逆相モードで進行する。すなわち、一方の隣接信号線部分 8 a から他方の隣接信号線部分 8 b に対して電界を生じて進行する。一方の隣接信号線部分 8 a が正電位であれば他方の隣接信号線部分 8 b は負電位となり、互いに信号成分が逆相になる。このことから、コプレーナライン構造を形成する開口部 10 の長さ  $L$  を大きくすることにより、逆相モードでの高周波成分が支配的になり、第 1 の増幅器 6 a と第 2 の増幅器 6 b は、互いに逆相で発振するようになる。

このような発振条件のもとで第 1 の増幅器 6 a と第 2 の増幅器 6 b の出力を合成すれば、前述のように基本波  $f_0$  は相殺され、2 倍波  $2f_0$  が合成されて出力されることになる。ここでは、合成出力線 11 は、各引出線 12 a, 12 b に対して、2 倍波の波長に対して  $4$  分の  $1$  波長の長さで電磁結合する。合成出力線 11 では、第 1 の増幅器 6 a の出力と第 2 の増幅器 6 b に出力とが逆相で合成されるので、合成出力線から 2 倍波  $2f_0$  の信号成分を得ることができる。

次に、本発明の第 2 の実施形態の 2 倍波発振器について、図 4 を用いて説明する。

上述した第 1 の実施形態の 2 倍波発振器では、コプレーナラインを形成するために接地導体 9 に設けられる開口部 10 の長さ  $L$  を大きくして、双方の増幅器 6 a, 6 b が逆相で発振するようにしているが、この第 2 の実施形態では、隣接信号線部分 8 a, 8 b に沿った開口部 10 の長さ  $L$  はむしろ小さくしている。その代わりに、隣接信号線部分 8 a, 8 b の位置から、隣接信号線部分 8 a, 8 b の伸

びる方向に直交する方向への開口部10の突出長を、基本波 $f_0$ に対応する波長を $\lambda$ として、ほぼ $\lambda/4$ に設定している。

このようにすれば、マイクロストリップライン構造の伝送路7a、7bを伝搬する基本波 $f_0$ の成分は、開口部10の位置で遮断されることとなり、開口部10の位置では、逆相モードの成分のみが、コプレーナライン構造を介して通過することになる。

第2の実施形態の構造によれば、開口部10の長さ $L$ を小さくできるので、高周波発振器の全体としての大きさを小さくすることができる。

次に、本発明の第3の実施形態の2倍波発振器について説明する。第3の実施形態の2倍波発振器は、第1の実施形態の2倍波発振器に対して注入同期を行えるようにして、発振器のQ値を高め、発振周波数の安定度を高めたものである。

図5に示す第3の実施形態の2倍波発振器は、第1の実施形態の2倍波発振器において、第1の発振器5aの信号線8と第2の発振器5bの信号線8とを共通接続し、そこへ、同期信号を注入するための注入線13を接続したものである。注入線13はマイクロストリップライン構造を有し、基板4の一方の主面において、合成出力線11とは反対側に設けられている。各信号線8は、注入線13との共通接続点に至るまで、基本波 $f_0$ の波長を $\lambda$ として、約 $\lambda/4$ だけ突出している。

この2倍波発振器では、注入線13から注入される同期信号としては、Qが大きくて安定度が高い例えば水晶発振器によるオーバートーン発振周波数や逡倍による発振周波数を用いることができる。同期信号の周波数は、高周波発振器の発振周波数（基本波 $f_0$ ）に対して、 $1/n$ （但し $n$ は整数）となる周波数とする。以下では、 $n=2$ であるとして説明する。

このように構成した回路では、注入線13からの同期信号によって、第1及び第2の増幅器6a、6bによる発振閉ループ内の高周波成分は、位相が揃えられることになる。この場合、同期信号が図6Cに示すように与えられているとして、2倍波発振器の基本波 $f_0$ に対して同期信号は $f_0/2$ なので、各発振閉ループにおいて、基本波 $f_0$ 成分は、図6A及び図6Bに示すように、波長の $2\lambda$ ごとに同期する。但し、2つの発振閉ループの出力は互いに逆相なので、波長 $\lambda$ 分ずつ

ずれて同期する。これにより、基本波  $f_0$  が安定するので、結果として、合成出力線 11 から得られる 2 倍波  $2f_0$  成分も安定する。

なおここでは、高周波発振器の基本波  $f_0$ （例えば  $1\text{GHz}$ ）に対して、水晶発振器を使用して、オーバートーンや逡倍によって  $f_0/2$ （ $500\text{MHz}$ ）の周波数の同期信号を得ているが、同期信号を  $f_0/10$  にすれば  $100\text{MHz}$  となるので、水晶発振器の基本波を同期信号として適用できる。その場合には、逡倍回路などが不要になるので、小型化や低コスト化に適する。なお、水晶発振器では、逡倍数を多くしても、現状では、前述の  $500\text{MHz}$  程度が上限である。

## 請求の範囲

1. 二つの発振器の出力を合成して発振出力を得る高周波発振器であって、  
基板と、  
前記基板の第1の主面に上に、出力端が相互に対向するように配置された発振用の第1および第2の増幅器と、  
前記第1の主面に設けられ、前記第1の増幅器の入力端と出力端とを接続して発振閉ループを構成する第1の信号線と、  
前記第1の主面に設けられ、前記第2の増幅器の入力端と出力端とを接続して発振閉ループを構成する第2の信号線と、  
前記基板の第2の主面に設けられ、前記各信号線とともにマイクロストリップラインを構成する接地導体とを有し、  
前記第2の主面において前記接地導体を取り除かれた開口部が設けられ、該開口部の領域で前記第1及び第2の信号線が相互に近接して配置されてコプレーナライン構造を構成している、高周波発振器。
2. 前記第1及び第2の増幅器の発振周波数が同一である、請求の範囲第1項に記載の高周波発振器。
3. 前記第1及び第2の増幅器の出力端に近接するように、前記各発振閉ループからの出力を合成する合成出力線が設けられている、請求の範囲第2項に記載の高周波発振器。
4. 前記合成出力線に近接して、前記第1の信号線から突出する第1の引出線と、前記第2の信号線から突出する第2の引出線とが設けられ、前記各引出線は、前記発振周波数に対応する波長の8分の1の突出長を有して前記合成出力線に電磁的に結合している、請求の範囲第3項に記載の高周波発振器。
5. 前記開口部の領域における前記第1及び第2の信号線が延びる方向に対して直交する方向に向かって、前記第1及び第2の信号線の位置から前記開口部の両方の端部までの長さが、それぞれ、前記発振周波数に対応する波長の4分

の1である、請求の範囲第2項に記載の高周波発振器。

6. 同期信号を注入するための注入線をさらに有し、前記注入線に対して前記第1及び第2の信号線が共通接続している、請求の範囲第1項に記載の高周波発振器。

### 開示の要約

二つの発振器の出力を合成して発振出力を得る高周波発振器は、基板と、基板の第1の主面に上に、出力端が相互に対向するように配置された発振用の第1および第2の増幅器と、第1及び第2の増幅器の入力端と出力端とを接続してそれぞれ発振閉ループを構成する第1及び第2の信号線と、基板の第2の主面に設けられ、各信号線とともにマイクロストリップラインを構成する接地導体とを有する。第2の主面において接地導体を取り除かれた開口部が設けられ、開口部の領域において第1及び第2の信号線が相互に近接して配置されてコプレーナライン構造を構成している。